

Methode zur Messung des Einflusses von Lichtimpulsen auf die visuelle Leistungsfähigkeit

Helmer, Melanie; Neumann, Cornelius

Karlsruher Institut für Technologie (KIT), Lichttechnisches Institut (LTI)

Engesserstraße 13, Geb. 30.34, 76131 Karlsruhe

Tel. 0721-608 46735, M.Helmer@kit.edu, www.lti.kit.edu

Abstract

Fahrten im Straßenverkehr sind durch sich ständig verändernde Lichtsituationen charakterisiert, die sowohl zeitlich als auch örtlich eine hohe Dynamik aufweisen. Ist die Dynamik innerhalb des Gesichtsfeldes des Beobachters so hoch sodass es das Auge nicht schafft sich entsprechend anzupassen, wird dies als Blendung bezeichnet. Während dieses Anpassungsprozesses verfügt das visuelle System nicht über seine optimale visuelle Leistungsfähigkeit, sodass potentiell gefährliche Objekte unter Umständen zu spät oder gar nicht erkannt werden können. Um das damit verbundene Gefährdungspotential besonders in Blendsituationen mithilfe von Probandenstudien evaluieren zu können, wurde eine objektive Messmethode, die sogenannte MeLLI-Methode (Measurement of glaring Light stimuli with Letter Identification) entwickelt und erfolgreich validiert.

1 Blendung im Straßenverkehr

Sowohl im Bereich der automobilen als auch der allgemeinen Lichttechnik ist das Thema Blendung bereits seit mehreren Jahrzehnten ein wesentlicher Forschungsschwerpunkt. Folglich wurden bereits verschiedene Methoden zur Bewertung der Blendung entwickelt. Eine Übersicht hierzu liefert Völker [2], in der außerdem die unterschiedlichen Maßzahlen, Einflussfaktoren und Modelle zur Bewertung physiologischer Blendung zusammenfasst.

Als Maßzahlen werden ΔVL als Differenz zwischen ursprünglicher und der unter Blendeinfluss reduzierten visuellen Leistungsfähigkeit sowie die Readaptationszeit t_R als die Zeit, die das Auge benötigt um die ursprüngliche Leistungsfähigkeit nach erfolgter Blendung wiederherzustellen, verwendet.



1.1 Charakterisierung der Blendsituationen im Straßenverkehr

Sobald eine Blendsituation im Gesichtsfeld des Beobachters auftritt, beginnt das Auge sich an diese anzupassen. Dieser Vorgang ist nach [3 bis 5] von folgenden Parametern abhängig:

- Blendimpulsdauer t_B
- Position und Bewegung der Blendquelle im Gesichtsfeld des Beobachters
- Verhältnis von Basis-Adaptationsleuchtdichte bzw. Basis-Beleuchtungsstärke und Blend-Adaptationsleuchtdichte bzw. Blend-Beleuchtungsstärke am Auge.

Wie bereits in anderen Veröffentlichungen [1, 6, 7] gezeigt werden konnte, zeichnen sich Blendsituationen im Straßenverkehr durch verhältnismäßig kurze, aber gleichzeitig sehr hohe Beleuchtungsstärkeniveaus am Auge aus. Außerdem verändert sich die Position der Blendquelle aufgrund der Fahrdynamik innerhalb des Gesichtsfeldes. Folglich ergibt sich insgesamt eine örtlich dynamische und zeitlich sehr kurze Situation, die es hinsichtlich der Blendung zu bewerten gilt.

1.2 Blendungsbewertung von Situationen im Straßenverkehr

Um das Blendpotential von Scheinwerfern bewerten zu können, hat das amerikanische *Insurance Institute of Highway Safety* bereits im August 2015 die erste Version des Headlight Test and Rating Protocols veröffentlicht, das seit Juli 2018 in der dritten Version vorliegt [8]. In diesem Dokument sind umfangreiche Anforderungen an das Fahrzeug und die Versuchsbedingungen gestellt, die dazu dienen sollen den Messablauf zu standardisieren sodass vergleichbare Ergebnisse gewährleistet werden können. Dem Verfahren liegen jedoch ausschließlich subjektive Blendungsbewertungen aus Probandenstudien zugrunde. Die beiden zuvor definierten notwendigen Maßzahlen ΔVL und t_R können hieraus nicht abgeleitet werden.

Etablierte Methoden zur Blendungsbewertung, wie die Schwellenkontrast-, Readaptationsmethode und Methode nach Greule sind Methoden, mit deren Hilfe der Einfluss auf die visuelle Leistungsfähigkeit zwar messbar gemacht werden kann, die Positionsänderung der Blendquelle innerhalb des Gesichtsfeldes jedoch nicht berücksichtigen. Für weitere Erklärungen hierzu sei auf [1, 9] verwiesen.

2 Methodenoptimierung

Grundlegend für die Entwicklung der MeLLI-Methode sind die Erkenntnisse, die aus bereits etablierten Methoden abgeleitet werden können. Folglich sind die drei wesentlichen Aspekte die Reaktionszeit, die Messauflösung und die Reizdarbietung.

2.1 Reaktionszeit

Um die Zeit t_R zu bestimmen, die das Auge nach einer Blendsituation zur Wiederherstellung der ursprünglichen visuellen Leistungsfähigkeit benötigt, werden

die Probanden stets gebeten einen Taster zu betätigen, also eine motorische Aktion auszuführen. Ist die zu erwartende Readaptationszeit t_R jedoch in der Größenordnung der motorischen Reaktionszeit, ist die Validität der Messergebnisse aufgrund der notwendigen motorischen Aktion in Frage zu stellen. Eine rein visuelle Aufgabe, ähnlich wie bei Greule [10], könnte Abhilfe schaffen, bringt allerdings neue Probleme in Bezug auf die vorhandene Messauflösung mit sich und im nächsten Abschnitt näher erläutert wird.

2.2 Optimierung der Messauflösung

Greule präsentierte seinen Probanden entweder einen Landolt-Ring oder einen von vier ausgewählten Buchstaben zu unterschiedlichen Zeitpunkten nach dem Blendimpuls in unterschiedlichen Kontrasten. So konnte er abhängig vom Zeitpunkt nach dem Blendimpuls ermitteln wie stark der Kontrast im Vergleich zu der Situation ohne Blendung erhöht werden muss, damit die Sehzeichen korrekt erkannt werden können. Diese Methode hat jedoch den Nachteil, dass zur Bestimmung der sogenannten Schwellenkontrasterhöhung eine Vielzahl von Messungen durchgeführt werden müssen. Übertragen auf den Anwendungsfall im Straßenverkehr würde dies wiederum bedeuten, dass die zu untersuchende Situation unverhältnismäßig oft durchlaufen werden muss sodass diese als nicht praktikabel angesehen werden kann.

Um dieser Problematik zu lösen zu können, kann der Fachbereich der kognitiven Psychologie herangezogen werden. Das visuelle Ultrakurzzeitgedächtnis oder auch ikonisches Gedächtnis genannt, wurde erstmalig von George Sperling [11] nachgewiesen. Dieser präsentierte den Probanden verschiedene Matrizen aus Buchstaben und Ziffern für teilweise weniger als 50 ms. Die Probanden hatten die Aufgabe so viele Buchstaben und Ziffern wie möglich an der korrekten Position wiederzugeben. Sperling konnte zeigen, dass es auch bei derart kurzen Darbietungszeiten möglich ist eine bestimmte Menge an Informationen, nämlich die der Anzahl der korrekt benannten Items, visuell aufzunehmen, kognitiv zu verarbeiten und wiederzugeben. In Bezug auf die Optimierung der Messauflösung bedeutet dies, dass den Probanden anstatt eines Items wie bei Greule auch mehrere Items dargeboten werden können. So kann die Anzahl der Korrekt benannten Items als Maß für den Blendeinfluss auf die visuelle Leistungsfähigkeit genutzt werden.

2.3 Optimierung der Reizdarbietung

Damit die Verwendung der Itemmatrix valide und vergleichbare Ergebnisse liefert, ist zunächst zu klären, wie diese hinsichtlich gesamter Matrixgröße, Itemanzahl und Itemanordnung gestaltet werden sollte.

Ausgehend vom gemäß CIE definierten Normalbeobachter, sollte die maximale Matrixgröße das 2°-Sichtfeld nicht überschreiten [12], damit alles auf einen Blick wahrgenommen und der Einfluss von Blickbewegungen ausgeschlossen werden kann.

Die Anzahl der dargebotenen Items orientiert sich vorrangig an der Kapazität zum Abruf der möglichen Informationsmenge. Unter Berücksichtigung der Erkenntnisse von Sperling zum Thema ikonisches Gedächtnis, Miller [13] zum Thema Kapazität des Arbeitsgedächtnisses und Hamilton, zitiert in [12], bzw. Walter [14] zum Thema Wahrnehmungsspanne zur Simultanerfassung wird die Anzahl der darzubietenden Items auf acht festgelegt.

Zur Festlegung einer geeigneten räumlichen Anordnung der Items wurde eine Probandenstudie durchgeführt [1, 15] und die Anordnung ausgewählt, welche sich als möglichst robust gegenüber der Darbietungszeit erwiesen hat. Dies bedeutet, dass sowohl bei kurzen als auch langen Darbietungszeiten vergleichbar viele Items erkannt wurden. Die Studie ergab, dass eine 2x4 mit 2°-Größe dieser Anforderung am besten gerecht wird.

Der Itempool umfasst die folgenden Buchstaben: C, D, F, H, K, M, N, P, R, S, T V, X und Z und wird in der Normschrift DIN 1451-2 dargeboten. Die Gründe für die Darbietung ausschließlich von Buchstaben und die Beschränkung auf oben genannten Zeichenpool erfolgt in [1, 16].

2.4 MeLLI-Methode

Anhand der vorgestellten Methodenoptimierung wurde eine Methode zur Blendungsbewertung entwickelt, die auf der Anzahl der korrekt benannten Buchstaben nach einem Blendimpuls basiert, engl.: Measurement of glaring Light stimuli with Letter Identification, kurz MeLLI-Methode, zur Blendungsbewertung entwickelt. Mithilfe dieser Methode ist es möglich sowohl die Maßzahl der relativen Visuellen Leistungsfähigkeit ΔVL als auch und die Readaptationszeit t_R gleichzeitig zu erfassen. Eine Prinzipskizze der Methode ist in Abbildung 1 zu sehen.

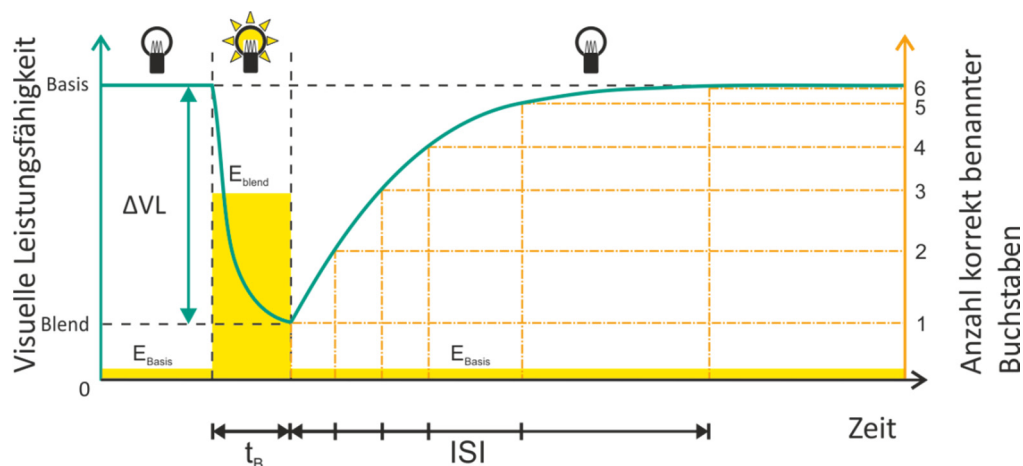


Abbildung 1 Prinzipskizze der MeLLI-Methode inkl. zeitlicher Verlauf der visuellen Leistungsfähigkeit anhand der Anzahl korrekt benannter Buchstaben in Abhängigkeit der gewählten Interstimulusintervalle (ISI) [1]

Wie anhand von Abbildung 1 ersichtlich ist, ist es über die Variation der Interstimulusintervalle, kurz ISIs, möglich den zeitlichen Verlauf nach dem Blendimpuls unter Berücksichtigung der Darbietungszeit der 2x4-Buchstabendmatrix zeitdiskret abzutasten. Zur Validierung der Methode wurden mehrere Probandenstudien durchgeführt.

3 Methodenvalidierung

Zur Methodenvalidierung wurden drei unterschiedliche Studien durchgeführt, die zum einen die zeitdiskrete Abtastung, den Einfluss variabler Blendimpulsdauern und die Kontrastsensitivität thematisieren. Im Folgenden wird exemplarisch die Studie zur zeitdiskreten Abtastung näher beschrieben.

3.1 Versuchsaufbau

Für die Studien wurde ein Versuchsaufbau konzipiert, der sich an den Rahmenparametern von Freyer [17] orientiert und insgesamt reproduzierbare Bedingungen gewährleistet. Der Aufbau, der in Abbildung 1 Abbildung 2 als Draufsicht zu sehen ist, orientiert sich am Anwendungsfall im automobilen Kontext zur Blendungsbewertung entgegenkommende Scheinwerfer (Punkt B50L).

Innerhalb des Aufbaus sind die Blendquelle und der Monitor zur Matrixdarbietung auf der Augenhöhe des Probanden von 1,25 m montiert. Der Proband befindet sich in 2,5 m mit direktem Blick auf den Monitor. Die weiß gestrichene Wand wird so beleuchtet, dass eine homogene Fläche mit einer Helligkeit von $0,1 \text{ cd/m}^2$ entsteht. Dies entspricht einer typischen Adaptationsleuchtdichte im Straßenverkehr.

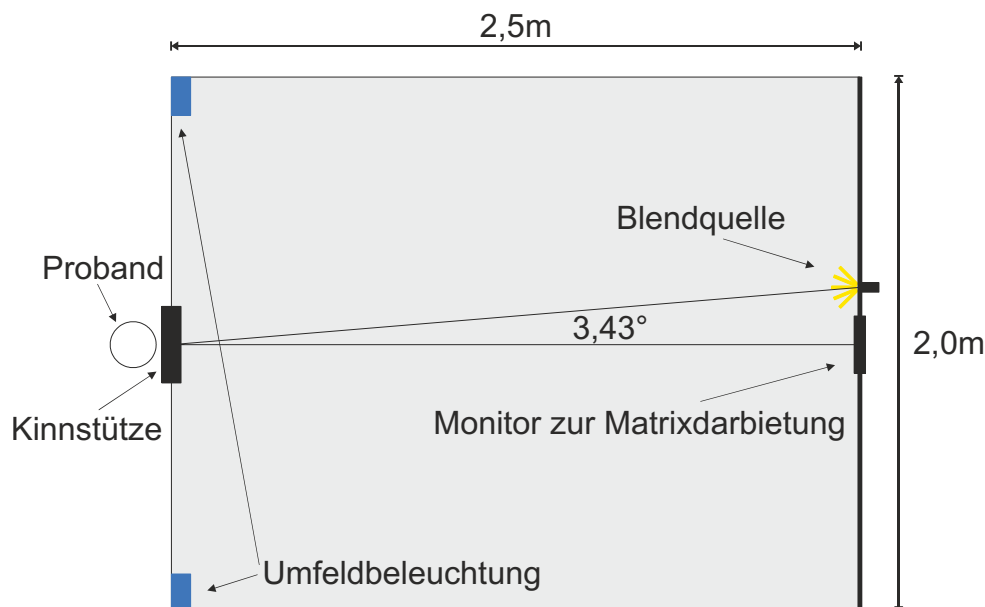


Abbildung 2 Draufsicht des Versuchsstandes

3.2 Versuchsdesign

Alle Studien wurden als within-subject-Design geplant und durchgeführt, wobei alle Probanden jede Situation mehrfach in randomisierter Reihenfolge durchlaufen. Wie bereits in Studien von Sperling [11] als auch eigenen Untersuchungen [7, 16] konnte gezeigt werden, dass von einem Lerneffekt der Probanden auszugehen ist. Die ersten zehn Durchläufe wurden folglich nicht bewertet und zum Einlernen der Probanden genutzt.

Das Probandenkollektiv wurde in allen Studien so gewählt, dass eine möglichst geringe Streuung der Messergebnisse bei gleichzeitiger hoher Vergleichbarkeit erreicht wird. Aufgrund der altersbedingten Streulichtbildung im Auge wurde das Maximalalter auf 30 Jahre festgelegt. Außerdem wurden Mindestvoraussetzungen hinsichtlich Visus und Kontrastsehvermögen unter photopischen und mesopischen Bedingungen abgetestet und nur die Probanden zum Versuch zugelassen, die diese erfüllen konnten.

3.3 Rahmenbedingungen zur Studie Zeitdiskrete Abtastung

Innerhalb der Studie zur zeitdiskreten Abtastungen, wurden die folgenden Rahmenparameter festgelegt:

- Blendimpulsdauer $t_B = 500 \text{ ms}$
- Blendbeleuchtungsstärke $E_B = 24 \text{ lx}$
- Darbietungszeit der Buchstabenmatrix $t_D = 50 \text{ ms}$
- Buchstabenkontrast: individuell bestimmter Schwellenkontrast mit Blendung K_S

In dieser Studie werden die Interstimulusintervalle (ISI) von 0 ms , 50 ms , 100 ms , 200 ms , 300 ms , 500 ms , 800 ms und 1000 ms untersucht. Für jedes Interstimulusintervall werden je fünf Messwerte erhoben.

3.4 Versuchsablauf

Zu Beginn erhielten die Probanden eine Instruktion zum Ablauf der Studie, sowie den Eingangsfragebogen zur Aufnahme der demographischen Daten. Anschließend erfolgte die optometrische Vermessung. Während der Adaptationzeit von 20 min wurde dem Probanden der Ablauf und die Aufgabenstellung noch einmal vorgelesen.

Dann absolvierte der Proband die studienspezifischen Durchgänge, wobei der erste ausschließlich dazu diente ihn mit dem zeitlichen Ablauf vertraut zu machen. Aufgrund des Lerneffektes wurde dieser, wie bereits erwähnt, nicht weiter berücksichtigt.

Die vier Durchgänge und die jeweiligen Parameter sowie Anzahl der Wiederholungen sind in der folgenden

Tabelle 1 zusammengefasst.

Tabelle 1 Durchgänge, Parameter und Anzahl der Wiederholungen bzw., Durchläufe je Durchgang der Studie zur zeitdiskreten Abtastung;) wird randomisiert; t_B - Blendimpulsdauer, E_B - Blendimpulsbeleuchtungsstärke am Auge des Probanden, t_D - Darbietungsdauer der Buchstabendmatrix, K_{BM} - Kontrast der Buchstabenmatrix, $K_{W,max}$ - Technisch maximal einstellbarer Kontrast nach Weber, K_S - Individueller Schwellenkontrast*

Durchgang	t_B [ms]	E_B [lx]	t_D [ms]	K_{BM}	ISI [ms]	Wdh.
1	500	24	50	$K_{W,max}$	500	10
2	500	24	50	K_S	0	15
3	500	24	50	K_S	Var.*	40
4	–	–	50	K_S	–	5

3.5 Ergebnisse

Insgesamt konnten im Rahmen dieser Studie 22 Probanden ausgewertet werden. In Abbildung 3 sind die ermittelten Mittelwerte der visuellen Leistungsfähigkeit inkl. Standardabweichung zu den getesteten ISIs dargestellt. Die Anzahl der in Durchgang 4 ohne Blendung im Mittel korrekt benannten Buchstaben beträgt $2,87 \pm 0,98$. Dieser Wert entspricht der ursprünglichen visuellen Leistungsfähigkeit, sodass auf der rechten Skala die Anzahl der im Mittel korrekt benannten Buchstaben auf diesen Wert normiert wird. Es zeigt sich, dass die Anzahl der korrekt benannten Buchstaben nach dem Blendimpuls mit steigendem ISI ebenfalls ansteigt. Um die Frage zu beantworten, ob die visuelle Leistungsfähigkeit nach einem relativ kurzen Blendimpuls signifikant kleiner ist als ohne Blendung wurde auf Basis der ermittelten Werte ein Paarvergleich aller ISIs zur Situation ohne Blendung durchgeführt und die Effektstärke nach Cohen berechnet. Die ermittelten p-Werte sind in Tabelle 2 zusammengefasst. Die Effektstärke nach Cohen beträgt 0,59. Folglich handelt es sich um einen großen Effekt.

Anhand der Ergebnisse lässt sich zeigen, dass ein signifikanter Einfluss des Blendimpulses auf die visuelle Leistungsfähigkeit für alle getesteten ISIs nachgewiesen werden kann. Da vergleichbare Situationen auch im Straßenverkehr auftreten können [1, 6, 18, 19] unterstreichen diese Ergebnisse die Kritikalität dieser Situationen.

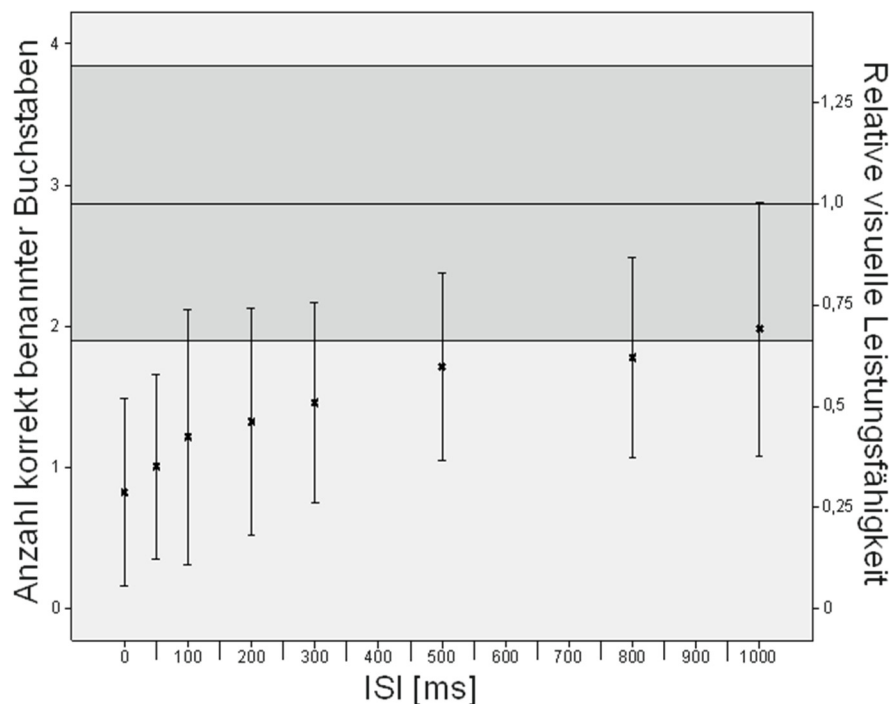


Abbildung 3 Linke Skala: Berechnete Mittelwerte und einfache Standardabweichung aus Durchgang 3 (x) mit Blendung in Abhängigkeit des gewählten ISIs; dunkel hinterlegt: Berechneter Mittelwert und einfache Standardabweichung aus Durchgang 4; rechte Skala: relative visuelle Leistungsfähigkeit (normiert auf die ursprüngliche visuelle Leistungsfähigkeit aus Durchgang 4)

Tabelle 2 Statistische Auswertung der Messergebnisse

Paarvergleich der Situation ohne Blendung zu ISI [ms]	p-Wert, signifikant ab <0,05
0	0,000*
50	0,000*
100	0,000*
200	0,000*
300	0,000*
500	0,001*
800	0,001*
1000	0,007*

4 Zusammenfassung und Ausblick

In diesem Artikel wurde eine Methode aufgezeigt, die eine objektive Bewertung sehr kurzer Blendsituationen ermöglicht. Im Zuge der durchgeführten Studien zur Validierung der Methodik konnte aufgezeigt werden, dass mit dieser der funktionelle Zusammenhang zwischen visueller Leistungsfähigkeit in Abhängigkeit der Zeit nach Blendimpuls nachgebildet werden kann. Des Weiteren konnte das Potential der neuen

Methodik zur objektiven Messung und Bewertung sehr kurzer Blendsituationen gezeigt werden.

Innerhalb der Studien zeigte sich jedoch, dass einige Aspekte genauer untersucht und diskutiert werden müssen. Diese stehen der generellen Funktionalität jedoch nicht entgegen.

1 Literaturangaben

- [1] Helmer, M.: Methode zur Messung des Einflusses von Lichtimpulsen auf die visuelle Leistungsfähigkeit, Karlsruher Institut für Technologie unveröffentlichte Dissertation. Karlsruhe
- [2] Völker, S.: Blendung durch Kfz-Scheinwerfer im nächtlichen Straßenverkehr. Ein Review bis 2006 - Beschreibung, Maßzahlen, Bewertungsmethoden. Schriftenreihe des Fachgebietes Lichttechnik, Bd. 10. Berlin: Universitätsverlag der TU Berlin 2017
- [3] Hartmann, E.: Die Sofortadaptation und ihre Bedeutung für den Sehvorgang, Ludwig-Maximilians-Universität Habilitationsschrift. München 1968
- [4] Crawford, B. H.: Photochemical Laws and Visual Phenomena, Bd. 133. 1946
- [5] Baker, H. D.: Initial stages of dark and light adaptation. Journal of the optical society of america 53 (1963), S. 98–103
- [6] Steinborm, W.: Evaluation realer Blendzeiten im Straßenverkehr, Karlsruher Institut für Technologie Bachelorarbeit. Karlsruhe 2017
- [7] Helmer, M.: Messmethoden zur Bewertung dynamischer Blendsituationen. In: Schweizer Licht Gesellschaft (Hrsg.): Tagungsband LICHT2018. 23. Europäischer Lichtkongress vom 9.-12. September in Davos. 2018
- [8] Insurance Institute for Highway Safety: Headlight Test and Rating Protocol. <https://www.iihs.org/iihs/ratings/ratings-info/headlight-evaluation>, abgerufen am: 27.11.2018
- [9] Helmer, M.: Potentielle Messmethoden zur Bewertung dynamischer Blendsituationen. Tagungsband Lux Junior 2017. 2017
- [10] Greule, R.: Kontrastschwellen bei transientser Adaptation, Universität Karlsruhe Dissertation. Karlsruhe 1993
- [11] Sperling, G.: The information available in brief visual presentations. Psychological Monographs: General and Applied 74 (1960) 11, S. 1–29

- [12] Solso, R. L. u. Reiss, M.: Kognitive Psychologie. Mit 14 Tabellen. Springer-Lehrbuch. Heidelberg: Springer 2005
- [13] Miller, G. A.: The magical number seven, plus or minus two. Some limits on our capacity for processing information. *Psychological Review* 63 (1956) 2, S. 81–97
- [14] Walter, D.: Nutzungsweisen bei der Verwendung von Tablet-Apps. Wiesbaden: Springer Fachmedien Wiesbaden 2018
- [15] Rapp, I.: Messung der visuellen Leistungsfähigkeit zur Bewertung dynamischer Blendsituationen, Karlsruher Institut für Technologie Bachelorarbeit. Karlsruhe 2018
- [16] Walschus, C.: Zeitdiskrete visuelle Leistungsmessung zur Bewertung dynamischer Blendsituationen, Karlsruher Institut für Technologie Bachelorarbeit. Karlsruhe 2018
- [17] Freyer, M.: Einfluss der Blendbeleuchtungsstärke und der Leuchtdichte auf die Blendung und den Schwellenkontrast bei homogenen und inhomogenen Umfeld, Hochschule Anhalt Diplomarbeit 2004
- [18] Dannenmaier, M.: Evaluierung realer Blendsituationen im Straßenverkehr, Karlsruher Institut für Technologie Bachelorarbeit. Karlsruhe 2017
- [19] Brahim, M.: Evaluierung maximaler Lichtstärken für unterschiedliche Scheinwerfersysteme unterhalb der HDG, Karlsruher Institut für Technologie Bachelorarbeit. Karlsruhe 2018